

El Oso Pardo, llave maestra del ecosistema

El presente informe recoge un primer balance de los trabajos desarrollados para la implementación de un sistema de monitorización remota de cercados eléctricos en colmenares de la RBVOyL, a partir de la reunión inicial mantenida con apicultores adheridos a la Marca RBVOyL.

En este encuentro se analizaron experiencias y necesidades relacionadas con el funcionamiento y mantenimiento de los cercados eléctricos como medida preventiva frente a daños por oso pardo, identificándose como principal reto la necesidad de disponer de información fiable en tiempo real que permita detectar fallos y reducir desplazamientos innecesarios a los colmenares.

A partir de este diagnóstico, se han definido las líneas de trabajo orientadas al desarrollo de un sistema de sensorización apoyado en la red LoRa existente en el territorio, con el objetivo de mejorar la eficacia de los cercados, optimizar su gestión y contribuir a una mejor coexistencia entre la actividad apícola y la presencia del oso pardo en la RBVOyL.

Monitorización remota de cercados eléctricos en colmenares de la RBVOyL: INFORME TÉCNICO

1. Contexto y justificación

En el territorio de la Reserva de la Biosfera Valles de Omaña y Luna (RBVOyL), la instalación de cercados eléctricos constituye una de las principales medidas preventivas para reducir daños en colmenares causados por el oso pardo (*Ursus arctos*). Estos sistemas han demostrado ser eficaces siempre que mantienen su capacidad disuasoria en condiciones óptimas de funcionamiento.

Sin embargo, el mantenimiento de estos cercados implica actualmente visitas frecuentes por parte de los apicultores para comprobar su estado operativo, lo que supone un coste en tiempo y desplazamientos, especialmente en un territorio de montaña con colmenares dispersos.

En este contexto, se plantea el desarrollo de un sistema de monitorización remota que permita:

- Detectar incidencias en el funcionamiento del cercado eléctrico en tiempo real
- Reducir visitas innecesarias a los colmenares
- Mejorar la eficacia de las medidas preventivas
- Contribuir a una mejor coexistencia con el oso pardo, reduciendo daños y mejorando su percepción social

La propuesta se basa en el aprovechamiento de la red de comunicaciones LoRa ya desplegada en la RBVOyL, que permitiría el envío automático de alertas a los dispositivos móviles de los apicultores.

2. Naturaleza del problema: qué significa el fallo de un cercado eléctrico

El fallo relevante en un cercado eléctrico no se limita a la desconexión del equipo, sino a la pérdida de su capacidad disuasoria. En la práctica, esto puede deberse a diferentes situaciones:

- Cese de emisión de impulsos por parte del electrificador (apagado, fallo interno, batería, conexiones)
- Derivaciones a tierra por vegetación, humedad o defectos estructurales
- Roturas del perímetro (por fauna o causas externas)
- Descenso de rendimiento por baja tensión de batería

Es importante destacar que estos sistemas no trabajan con corriente continua, sino mediante impulsos de alta tensión (del orden de kV) con una frecuencia aproximada de un pulso por segundo. Esta característica condiciona el tipo de sensores y metodologías de monitorización que pueden emplearse.

3. Características del sistema electrificador

El modelo analizado, ampliamente utilizado por los apicultores del territorio, es un pastor eléctrico alimentado mediante batería de 12 V, con las siguientes características orientativas:

- Tensión de salida: hasta 10.000 V
- Energía de impulso: entorno a 12 J
- Consumo: aproximadamente 90–175 mA
- Frecuencia de impulso: ~1 Hz

El funcionamiento se basa en la generación de impulsos de alta tensión, lo que implica que la variable más representativa del estado del sistema es la tensión de impulso y su comportamiento frente a cargas o derivaciones, más que la corriente en régimen continuo.

4. Limitaciones de la medición directa en la línea de alta tensión

La medición directa sobre la línea de alta tensión del cercado eléctrico mediante sensores convencionales de corriente continua no resulta adecuada desde un punto de vista técnico ni de seguridad, debido a varias limitaciones fundamentales.

En primer lugar, los niveles de tensión presentes en la salida del electrificador alcanzan valores del orden de varios kilovoltios, muy superiores al rango de operación de la electrónica convencional. La conexión directa de sensores no

diseñados específicamente para estas condiciones no solo resultaría inoperativa, sino que podría provocar daños en los equipos, fallos de aislamiento o incluso situaciones de riesgo para las personas.

En segundo lugar, la señal generada por los pastores eléctricos no es continua, sino impulsional, caracterizada por pulsos de alta tensión de corta duración y baja frecuencia (en torno a un pulso por segundo). Esta naturaleza hace que los sistemas de medición basados en corriente o tensión en régimen estacionario no proporcionen información representativa del funcionamiento real del cercado.

Por último, cualquier sistema de medida conectado directamente a la línea debe cumplir el principio de no interferencia, es decir, no alterar el comportamiento del electrificador ni reducir su eficacia. La introducción de cargas o derivaciones indebidas puede disminuir la tensión efectiva del cercado, comprometiendo su capacidad disuasoria.

Por todo ello, la monitorización del sistema debe plantearse desde un enfoque indirecto, basado en variables accesibles en baja tensión o en métodos de detección no invasivos que permitan inferir el estado del cercado sin intervenir sobre la línea de alta tensión.

5. Variables de monitorización recomendadas

5.1. Lado de alimentación (12 V)

Se considera prioritario abordar la monitorización del sistema desde el lado de alimentación del electrificador, donde las condiciones eléctricas son seguras y compatibles con sensores estándar.

Las variables clave a monitorizar son:

- Tensión de la batería
- Consumo eléctrico del electrificador

La medición de la tensión de batería permite identificar estados de descarga que puedan comprometer el funcionamiento del sistema, anticipando fallos antes de que se produzcan. Por su parte, el análisis del consumo eléctrico proporciona información sobre el estado operativo del equipo, permitiendo distinguir entre funcionamiento normal, apagado o comportamientos anómalos.

Este enfoque presenta varias ventajas:

- Se realiza en rangos de baja tensión (12 V), sin riesgos asociados
- Permite una implementación sencilla y robusta
- Facilita la detección de fallos frecuentes en campo, como baterías agotadas o desconexiones
- En conjunto, constituye la base mínima de un sistema de monitorización fiable.

5.2. Presencia de impulsos

Este proyecto se realiza con el apoyo financiero de la Fundación Príncipe Alberto II de Mónaco en el marco de la Iniciativa Humanidad - Fauna Silvestre #InitiativeHommeFauneSauvage.

La detección de la presencia de impulsos es un indicador directo de que el electrificador se encuentra en funcionamiento y generando señal en la línea.

Dado que no es recomendable intervenir directamente sobre la alta tensión, esta detección puede realizarse mediante métodos indirectos, tales como:

- Lectura del patrón del indicador luminoso del equipo, en aquellos modelos que reflejan la emisión de pulsos
- Sistemas de detección no invasiva basados en acoplo capacitivo o captación del campo eléctrico generado por el impulso
- Estos métodos permiten verificar la existencia de actividad sin comprometer la seguridad ni el rendimiento del sistema.
- La monitorización de impulsos permite detectar:
 - Fallos completos del electrificador
 - Interrupciones en la generación de señal
 - Funcionamiento intermitente

Asimismo, la frecuencia y regularidad de los pulsos pueden aportar información adicional sobre el estado del equipo.

5.3. Estado eléctrico del cercado

Más allá de la mera presencia de impulsos, resulta fundamental evaluar la calidad de la señal en el cercado, ya que un sistema puede estar activo pero no ser eficaz desde el punto de vista disuasorio.

Factores como la vegetación en contacto con los hilos, la humedad, defectos en aisladores o daños estructurales pueden provocar derivaciones a tierra que reducen la tensión efectiva del impulso.

Para detectar estas situaciones, es necesario estimar el nivel de tensión de los impulsos o su degradación relativa. Las principales aproximaciones técnicas incluyen:

- Sistemas de medición mediante divisores de muy alta impedancia, diseñados para no cargar la línea
- Sensores capacitivos no invasivos que permiten estimar la intensidad del campo eléctrico

Estas soluciones permiten identificar escenarios en los que:

- El electrificador sigue funcionando, pero el cercado pierde eficacia
- Se producen fugas o derivaciones a tierra
- Existen condiciones que reducen la capacidad disuasoria frente a fauna
- Este nivel de monitorización resulta clave para una gestión preventiva efectiva.

6. Detección de roturas del perímetro

Uno de los escenarios más complejos desde el punto de vista de la monitorización es la rotura parcial del cercado sin derivación a tierra. En estos casos, el electrificador puede seguir generando impulsos correctamente en el punto de alimentación, mientras que parte del perímetro queda sin protección.

Este tipo de fallo puede producirse, por ejemplo, cuando un animal rompe un tramo del cercado sin que se genere un contacto directo con el suelo.

Para abordar esta limitación, se plantean dos estrategias principales:

- **Monitorización multipunto**, mediante la instalación de nodos sensores en diferentes puntos del perímetro, especialmente en los extremos más alejados
- **Sistemas de retorno o lazo de continuidad**, que permiten verificar la integridad eléctrica del conjunto del cercado

Estas soluciones permiten comparar el estado de la señal en distintos puntos y detectar pérdidas de continuidad o zonas sin tensión.

La elección de una u otra dependerá del tamaño del colmenar, la complejidad del cercado y los recursos disponibles.

7. Integración con la red LoRa

El sistema propuesto se apoya en la infraestructura de comunicaciones LoRa ya existente en la RBVOyL, lo que constituye una ventaja estratégica para su implementación.

Las principales ventajas de esta tecnología en el contexto del proyecto son:

- Cobertura en entornos rurales de difícil acceso
- Bajo consumo energético, adecuado para sistemas autónomos
- Capacidad de transmisión de datos a larga distancia
- Idoneidad para sistemas de alerta con baja frecuencia de envío

La arquitectura básica del sistema incluiría:

- Un nodo sensor instalado en el colmenar, encargado de recoger y procesar los datos
- Transmisión de la información a través de la red LoRa
- Recepción en una pasarela o servidor central
- Procesamiento de los datos y generación de alertas

Las alertas pueden integrarse en distintos canales (aplicaciones móviles, SMS, correo electrónico), facilitando una respuesta rápida por parte del apicultor.

8. Propuesta de arquitectura del sistema

Se propone una implementación progresiva, que permita validar el sistema en campo e incorporar mejoras de forma escalonada.

Fase 1 (mínimo viable)

Se centra en la monitorización básica del sistema:

- Medición de tensión de batería
- Medición de consumo del electrificador
- Detección de encendido/apagado

Permite cubrir los fallos más frecuentes con una solución sencilla y de bajo coste.

Fase 2

Introduce la detección de impulsos:

- Verificación de actividad del electrificador
- Identificación de fallos completos o intermitentes

Mejora significativamente la capacidad de diagnóstico.

Fase 3

Aborda la evaluación del estado del cercado:

- Detección de pérdidas de tensión
- Identificación de derivaciones a tierra

Permite detectar situaciones en las que el sistema funciona pero no es eficaz.

Fase 4 (avanzada)

Incorpora monitorización multipunto:

- Comparación de señal en distintos puntos del perímetro
- Detección de roturas o zonas sin cobertura

Representa el nivel más completo de control del sistema.

9. Consideraciones de seguridad y durabilidad

El diseño del sistema debe adaptarse a las condiciones del medio rural de montaña, garantizando su fiabilidad a largo plazo.

Entre los aspectos clave a considerar destacan:

- Protección frente a sobretensiones, especialmente por descargas atmosféricas

- Aislamiento eléctrico adecuado entre el sistema de monitorización y la línea de alta tensión
- Uso de envoltentes estancas y resistentes a condiciones ambientales adversas
- Diseño robusto frente a humedad, variaciones térmicas y presencia de fauna
- Minimización de interferencias con el funcionamiento del cercado

Estos elementos son esenciales para garantizar la durabilidad y seguridad del sistema en condiciones reales de campo.

10. Integración con la red LoRa

El desarrollo de un sistema de monitorización remota de cercados eléctricos en colmenares constituye una línea de trabajo estratégica para la RBVOyL, al integrar innovación tecnológica con la gestión sostenible del territorio.

Su implementación permitirá:

- Optimizar la gestión de los colmenares
- Reducir desplazamientos innecesarios
- Mejorar la eficacia de las medidas preventivas
- Disminuir los daños asociados a la fauna
- Favorecer una mejor coexistencia con el oso pardo

La combinación de tecnología LoRa, sensorización de bajo coste y un enfoque de desarrollo progresivo permite diseñar una solución escalable, adaptable al contexto rural de montaña y alineada con los objetivos de conservación, desarrollo local y valorización de la actividad apícola en la RBVOyL.

BIBLIOGRAFÍA

Gallagher Group Limited. (s. f.). *Mains powered energizer M1100/M1500 user manual*. <https://search.am.gallagher.com/media/11961/3e4451-main-powered-energizer-m1100-m1500-user-manual-web.pdf>

International Electrotechnical Commission (IEC). (s. f.). *Safety requirements for electric fence energizers* (IEC Standard). <https://static.spokanecity.org/documents/bcc/commissions/plan-commission/meeting-documents/2015/08/26/iec-standard.pdf>

Pastores Zagal. (s. f.). *Pastor eléctrico Zagal-1 Tipo 20 a batería 12 V*. <https://www.pastoreszagal.com/tienda/es/pastores-a-bateria-12v/30-n-2-bateria-12v-zagal1-tipo-20-mas-de-500-hectareas.html>

Pastores Zagal. (s. f.). *Instrucciones de uso de pastores eléctricos Zagal*. <https://www.pastoreszagal.com/doc/Instrucciones-Pastores-Zagal.pdf>

Texas Instruments. (s. f.). *INA219: Zero-drift, bidirectional current/power monitor with I²C interface (datasheet)*. <https://www.ti.com/product/INA219>

Arduino. (s. f.). *Adafruit INA219 library documentation*. <https://docs.arduino.cc/libraries/adafruit-ina219/>

Digi-Key. (2022). *How to use a phototransistor with an Arduino*. <https://www.digikey.be/fr/maker/blogs/2022/how-to-use-a-phototransistor-with-an-arduino>

Core Electronics Forum. (s. f.). *Low cost electric fence indicator light*. <https://forum.core-electronics.com.au/t/low-cost-electric-fence-indicator-light/18063>

JVA Technologies. (s. f.). *BMI electric fence monitor: Quick start user manual*. <https://www.jva-fence.com.au/docs/ST115%20JVA%20BM1%20Quick%20Start%20Users%20Manual.pdf>

JVA Technologies. (s. f.). *Wildlife electric fencing catalogue*. <https://jvasecurity.com/catalogues/pdf/wildlife.pdf>

Ezurio. (s. f.). *Is there a difference between LoRa and LoRaWAN?* <https://www.ezurio.com/support/faqs/is-there-a-difference-between-lora-and-lorawan>

The Things Network. (s. f.). *Duty cycle limitations*. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/duty-cycle/>

The Things Industries. (s. f.). *Webhooks | The Things Stack for LoRaWAN*. <https://www.thethingsindustries.com/docs/integrations/webhooks/>

Meta Platforms, Inc. (s. f.). *WhatsApp Business Platform: Business phone numbers*.
<https://developers.facebook.com/documentation/business-messaging/whatsapp/business-phone-numbers/phone-numbers>

Virginia Cooperative Extension. (s. f.). *Electric fencing for livestock*.
<https://www.pubs.ext.vt.edu/SPES/spes-690/spes-690.html>